# Overview

## *of the* Joint Winter Runway Friction Measurement Program

*November 2004*

Transportation Development Centre

TP 13361

Transport Canada Transports Canada

Canada

Transportation Development Centre
800 René Lévesque Blvd. West
Suite 600
Montreal, Quebec H3B 1X9

Telephone (514) 283-0000
Facsimile (514) 283-7158
E-mail tdccdt@tc.gc.ca
Web site www.tc.gc.ca/tdc/menu.htm

© Her Majesty the Queen in Right of Canada, represented by the Department of Transport, 2004.

Catalogue No. 548-43/2004
ISBN 0-662-68534-5
TP 13981
November 2004

Transport Canada does not endorse products or manufacturers. Trade or manufacturers' names appear in this document only because they are essential to the text.

Background

History

Research Focus

Testing

Development of CRFI

Development of IRFI

The Future of IRFI

References

Transportation Development Centre
800 René Lévesque Blvd. West
Suite 600
Montreal, Quebec H3B 1X9

Telephone (514) 283-0000
Facsimile (514) 283-7158
E-mail tdccdt@tc.gc.ca
Web site www.tc.gc.ca/tdc/menu.htm

© Her Majesty the Queen in Right of Canada, represented by the Department of Transport, 2004.

Catalogue No. T48-43/2004
ISBN 0-662-68524-5
TP 13361
November 2004

Transport Canada does not endorse products or manufacturers. Trade or manufacturers' names appear in this document only because they are essential to the text.

# Table *of* Contents

1 Background

2 History

4 Research Focus

5 Testing

7 Development of CRFI

10 Development of IRFI

12 The Future of IRFI

13 References

105-00834

# Overview of the Joint Winter Runway Friction Measurement Program

## Background

Wet and icy runways are the leading cause of landing accidents worldwide. Timely and accurate information about runway surface conditions is critical for determining aircraft operations. Methods for assessing weather conditions vary from one country to another, and the information communicated to pilots varies not only from country to country but from airport to airport, even when describing similar surface conditions.

The most common method used for surface quality evaluation on airport runways remains surface friction measurement, despite several attempts at developing a system for automatic monitoring, identification, and measurement of contaminants. Runway surface friction measurement is carried out as part of general runway surface condition reporting. This comprehensive process involves:

- visual inspection of surfaces to identify the type of contaminant, its extent, and its surface distribution;
- measurement of contaminant thickness; and
- friction measurement.

## Dryden Commission

A fatal air crash in Dryden, Ontario, in March 1989 brought the issue into sharp focus in Canada. An Air Ontario Fokker F-28 MK 1000 crashed off the end of the runway on departure. Twenty-one passengers and three crew members of the 69 aboard died as a result of the crash. The aircraft was destroyed in the post-crash fire.

Among its many recommendations, the Dryden Commission of Inquiry that investigated the disaster stressed the need "to expedite the search for a technically accurate means of defining runway surface conditions and their effects on aircraft performance". Early work funded by the Dryden Commission suggested that it would be impossible to reach conclusions or develop measurements with the data available at the time. The introduction of new anti-icing chemicals and new technologies, as well as the streamlining of operational procedures, meant that acquiring adequate data would be a major undertaking.

## Creation of JWRFMP

In December 1995, following publication and discussion of a joint Canadian government / industry white paper, Transport Canada (TC) and the National Aeronautics and Space Administration (NASA) signed a memorandum of understanding for a five-year initiative to study winter runway friction measurement. With the added support of other North American organizations as well as Norwegian and French authorities, a concerted international effort – the Joint Winter Runway Friction Measurement Program (JWRFMP) – began in January 1996.

*Objectives*

The overall objectives of JWRFMP are:

- to study methods of friction measurement and define an International Runway Friction Index (IRFI) for worldwide use;
- to establish an international methodology whereby a common indication of runway conditions can be established worldwide; and
- to study the operational performance of aircraft on contaminated surfaces and establish a relationship with the harmonized index (IRFI).

To achieve these objectives, the TC/NASA team planned a five-phase approach:

- acquisition of data through ground vehicle tests
- acquisition of data through tests with instrumented aircraft
- data analysis, correlation, and interpretation
- application of the knowledge gained to the development of an IRFI
- validation of the IRFI development

*Supporting organizations*

National Research Council Canada (NRC) and the U.S. Federal Aviation Administration (FAA) immediately backed the TC/NASA program. The Norwegian Civil Aviation Administration and France's Service technique des bases aériennes and Direction générale d'aviation civile also offered support. Over time, other agencies, such as the International Civil Aviation Organization, the Joint Aviation Authority (the European counterpart of the FAA), and the Canadian Department of National Defence, as well as Canadian, U.S., U.K., French, German, Japanese, and Norwegian aviation operators and manufacturers became involved. The program, which is managed by the Transportation Development Centre of Transport Canada, now involves more than 30 organizations from 12 countries. Participants provide varied assistance: financial backing, data acquired in their own programs, technical expertise, equipment, materials, personnel, and facilities.

The American Society for Testing and Materials (ASTM) offered to work with industry and the aviation community to develop standards for a common reporting index for ground friction measuring devices, based on the program's findings and input from program participants. An ASTM task group with international representation was established to develop concepts for this index.

## Defining friction forces

Friction forces can be grouped roughly into two categories:

1. *Friction forces generated at the tire–surface interface:* The amplitude of these forces reflects the nature of contact between the tire and the surface. The characteristics of this contact, and consequently the value of friction forces, depend ultimately on the nature and thickness of the contaminants. A "hard" contaminant such as ice or compacted snow reduces friction forces because of its low shearing force.
2. *Tire rolling resistance of the measurement wheel:* Fluid contaminants such as water, melting ice or snow (slush), and loose snow also reduce friction forces. However, the presence of these contaminants also generates compression forces – resisting the vertical displacement of the tire – that determine the displacement drag forces. These forces depend on the speed and the bearing of the measurement wheel as well as the thickness and density of the fluid contaminant.

In general, surface friction assessment is carried out as follows:

- A vehicle equipped with a measurement reference wheel with a special tire type is driven at a constant speed.
- The measurement reference wheel is put in contact with the surface by applying a vertical load on the wheel. It is then slowed to instigate a slip between the tire and the surface. This slip generates contact frictional forces at the tire–surface interface.
- Measurement systems designed to quantify these forces produce a friction value.

## Friction measuring devices

Measuring devices used to record friction characteristics vary in design and function. Some measure only friction forces (measurement of the braking torque), while others measure global forces (friction and rolling resistance forces), which are translated into a single parameter: the friction coefficient. The characteristics of the measurement wheel – the "sensor" element of the measuring apparatus – may vary from machine to machine in critical ways such as size (width and diameter), type of tire rubber, tire shape, tire pressure, and the vertical load on the measurement wheel.

Friction characteristics of a surface can also be evaluated using an decelerometer rigidly fixed in a vehicle. The vehicle is accelerated to a speed of 50 km/h; the brakes are then applied to lock the wheels. The friction coefficient is deducted from the measured deceleration developed by frictional and drag forces. Since the test vehicle must be accelerated to a given speed before each reading can be taken, these devices are referred to as spot reading friction measuring devices.

Given the variety of designs and characteristics of friction measuring equipment, it is not surprising that these devices may provide different measurement results.

## Aircraft braking performance

Aircraft braking coefficients, the best measure of aircraft braking performance, are calculated from the total aircraft deceleration during a braking run, taking into account other factors such as aerodynamic drag, idle or reverse thrust, contamination drag, and runway slope.

## Ground friction

*Methodology*

The study group selected a number of measuring devices for experimentation:

- the Runway Friction Tester and the BV11 skid-dometer used by the FAA
- the Integrated Tire Test Vehicle from NASA
- the Surface Friction Tester (SFT) developed by Saab, the GripTester, and the Electronic Recording Decelerometer (ERD) used by Transport Canada
- the Instrument de mésure automatique de glissance (IMAG), developed by the Service technique des bases aériennes of France's civil aviation authority

The trial runs involved measuring friction forces on natural surface conditions, depending on local weather, and on prepared surfaces. The first objective was to explore a range of surface conditions to study the slipperiness of various contaminants (ice, wet snow, dry snow, compacted snow, and slush) as well as the results of various measuring devices.

For surfaces covered with ice and compacted snow, tests were also conducted to study the effects of temperature, load, and tire pressure on the measurement wheel.

*History*

Tests were carried out each winter at the Jack Garland Airport in North Bay, Ontario. Testing moved periodically to other locations in North America, including the Gwinn Sawyer Air Base in Michigan and NASA's Wallops Flight Facility in Virginia. JWRFMP was accommodated in Europe by the Norwegian civil aviation administration at Oslo Gardermoen Airport, and by German airport authorities in Munich and at Erding Airbase. Tests were also conducted at Prague Airport in the Czech Republic and at the New Chitose Airport, hosted by the Japanese civil aviation authority.

A database was developed and made available that contains test data from over 38,500 runs with 44 devices of 14 different makes. Test surfaces include at least six different ice conditions, packed snow, loose snow from .25 mm to 100 mm, and over 30 wet and dry surfaces. Test temperatures range from -25°C to +10°C.

## Aircraft braking performance

*Methodology*

Aircraft tests covered three critical configurations – takeoff, landing, and rejected takeoff – on a variety of surfaces. Test manoeuvres included both accelerate-stops and landings using full anti-skid braking on a variety of contaminated surfaces. Parameters measured included aircraft deceleration, wheel-brake pressures, and speed changes for the test aircraft under various conditions. Ground vehicle friction measurements were taken before and after aircraft runs to compare the readings from aircraft and ground vehicles. Aircraft-based

measurements were used to establish a theoretical model relating the aircraft braking coefficient of friction to the ground vehicle measured friction and to develop tables of predicted landing distance.

*History*

Initial tests at North Bay, Ontario, included braking tests with a variety of instrumented aircraft and various ground friction measuring devices. While work continued at the North Bay location, subsequent winters saw testing move to a series of international locations, including the NASA Wallops Flight Facility in Wallops, Virginia; Oslo, Norway; Gwinn Sawyer Airbase, Michigan; Munich, Germany; Erding Airbase, Germany; Prague, Czech Republic; and New Chitose Airport in Sapporo, Japan.

Test data for aircraft braking coefficients were obtained for a total of eight aircraft (six different aircraft types) with similar anti-skid braking systems: an NRC Falcon 20; a NASA B737 and B757; FAA and First Air B727s; de Havilland and NAV Canada Dash 8s; and a Fairchild Dornier DU328 turboprop. A total of 275 full anti-skid braking aircraft runs were made on over 70 contaminated surfaces, most due to natural winter conditions and some man-made, such as compacted snow and runway ice. Data collected in Japan involved B767, B777, and B747 aircraft.

# Development of CRFI

## Proposed regulations requiring its use

A runway condition reporting program, which includes the measurement of runway friction, has been in place at Canadian airports for about 30 years. Friction values, obtained from an ERD, are reported as the Canadian Runway Friction Index (CRFI). The CRFI values form part of the surface condition report and are included with the NOTAM information. These friction values are available to pilots and may be applied to the *CRFI Tables of Recommended Landing Distances* which are published as guidance material in the *Canadian Aeronautical Information Publication* and the *Canada Flight Supplement*.

Amendments have been drafted to Canadian Aviation Regulations to standardize the reporting of CRFI values, including frequency and dissemination of inspections and reports, equipment to be used and its maintenance, and training of personnel at all Canadian airports.

## Correlation with aircraft braking performance

Aircraft braking coefficients, the best measure of aircraft braking performance, are calculated from the total aircraft deceleration during a braking run, taking into account other factors such as aerodynamic drag, idle or reverse thrust, contamination drag, and runway slope. Braking coefficients are normally dependent primarily on aircraft speed and runway friction. However, test results indicated that for winter contaminated surfaces, the braking coefficient during full anti-skid braking remained essentially independent of aircraft groundspeed for all aircraft tested. Therefore, aircraft braking coefficients could be plotted directly against runway friction indices to determine the extent of correlation and whether aircraft braking performance could be predicted using a runway friction index.

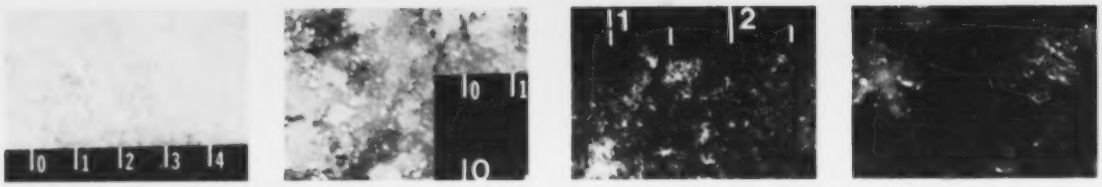
In the comparison of aircraft braking coefficients with the runway friction indices recorded by the ERD, SFT, and IMAG, the ERD provided the best correlation. Its output is the basis for CRFI. Each of the three major classes of aircraft tested (business jet, medium transport, and turboprop) showed a similar relationship between aircraft braking coefficient and CRFI. The correlation was considered good enough to be used for a conservative prediction of aircraft braking performance based on the measured CRFI.

## Development of CRFI tables of recommended landing distance

The aircraft braking coefficient was computed from the deceleration data, and an average braking coefficient for each run was determined. The braking coefficient was plotted against CRFI to determine a linear fit. The end result was a good correlation between the braking coefficients for all aircraft tested and CRFI on runway surfaces with uniform contamination distribution and minimal contamination drag.

Using the linear fit as a prediction of braking coefficient versus CRFI, a deceleration model was developed. The average deceleration from the model was used to determine braking distance and then overall landing distance for a full range of landing conditions. For example, Falcon 20 landing distances from 50 ft. to a full stop on a dry runway range from 1,800 ft. (which represents minimum gross weight, CRFI = 0.8, sea level, 20 kn. head wind) to 4,000 ft. (which represents maximum gross weight, CRFI = 0.8, 6,000 ft. pressure altitude, 10 kn. tail wind).

Using the deceleration model and other Falcon 20 data, landing distances on contaminated runways were determined as a function of the Falcon 20 Aircraft Flight Manual (AFM) landing distances and CRFI. Safety factors were included, and the model



was expanded to include turboprop AFM landing distances down to 1,200 ft. A separate model incorporating the effects of reverse thrust was also developed.

Because the recommended landing distances in the CRFI tables are expressed as a factor of the AFM landing distance (as a function of CRFI), they are assumed to apply to generic aircraft with similar anti-skid systems. In other words, percentage increases in AFM landing distances due to runway friction chances are assumed to be similar for aircraft with similar anti-skid braking systems. Separate studies and operational experience have shown this assumption to be valid.

## Survey of Canadian pilots

In July 2001 a survey questionnaire was distributed to 1,000 randomly selected airline pilots from the Air Canada Pilots Association (ACPA) and to all (approximately 2,450) pilots in the Air Line Pilots Association (ALPA) Canada. A French version of the survey was also distributed to predominantly francophone councils in ALPA. The questionnaire was developed with input from TC, ACPA, and ALPA. A total of 393 pilots responded – a rate of 11.4% – offering a good cross section of pilots of commercial aircraft operating in Canada in terms of pilot experience and aircraft type.

### *Findings*

Most commercial pilots in Canada have access to and use some kind of guidance material for operating on slippery runways, and most apply some adjustment factor to the landing field length when conditions are slippery. For landings on runways that are icy or covered with compacted snow, most pilots apply a 15% increase in landing distances, which is a requirement for many aircraft on wet runways. Pilots regularly adjust their flight plans to account for slippery runways. In winter 2000–01 about half the pilots reported either remaining airborne until runway friction improved or diverting to another airport. Reductions in weight prior to take-off or while en route were far less common.

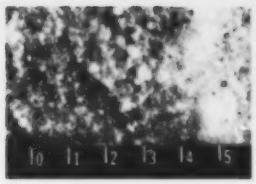
Pilots indicated that the quality of runway friction information provided by airports varies, and that improvements are needed. Friction values need to be updated more frequently, particularly at small airports, and steps taken to ensure readings are current and have been updated when significant changes in conditions occur.

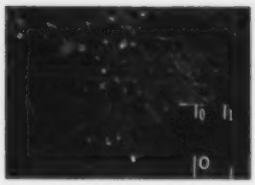
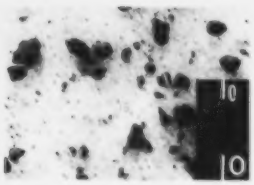
The survey also suggested that training related to low runway friction should be improved. Over 20% of pilots of large jet aircraft had not received any formal training on the use of runway friction information, and only half had received training in the previous 12 months. Of those that had received training, 20% indicated that the use of runway friction values was covered "poorly".

## Cost-benefit analysis

A benefit-cost analysis conducted in 2002 compared the use of the CRFI tables for accounting for slippery runways with use of the current regulations (no adjustment), the 115% wet runway adjustment, and adjustments based on manufacturers' guidance material. For aircraft types where no manufacturer's guidance material was available, the adjustment was based on adjustments for similar aircraft.

The benefits of accounting for slippery runways were determined by estimating the reduction in accident costs. A model was developed to estimate the probability of overrun and the consequences when an overrun occurs. The landing distance was estimated from the AFM landing distance with adjustments for slippery runways based on



analysis of Falcon 20 tests at North Bay by NRC and TC. The model allows for variation in air distance prior to touchdown, delay time, braking coefficient on slippery runways, and the setting and application of brakes. The risk model was shown to be consistent with past history of overruns in Canada.

The costs to air carriers and passengers included delays until the CRFI value improves, cancelled or diverted flights, weight reductions, updating manuals, and additional training. Additional costs to airports will be small as CRFI values are already collected at all airports with paved runways with jet service. Possible additional costs to airports include the provision of CRFI values earlier in morning and changes in procedures and training to improve the consistency of reporting.

*Findings*

The risk of a jet aircraft overrunning the end of a slippery runway on landing is approximately 13 times greater than for a dry runway. The risks of overruns on landing for aircraft without reverse thrust are approximately 4 to 7 times greater than for aircraft with reverse thrust.

The overrun accident/incident rate of jet aircraft landing on a slippery runway in Canada between 1989 and 2001 was approximately 17 per million landings (excluding cases where aircraft went off the side of the runway). For commercial passenger jet aircraft, the rate was 13 per million landings. Because of the small proportion of landings on slippery runways, the overrun accident/incident rate due to slippery runways over all landings was 1.3 per million, or 1.0 per million for commercial passenger jet aircraft. The consequences of these overruns also tend to be low, with no fatalities recorded in these types of accidents in the last 25 years in Canada.

The benefits of using the CRFI tables to adjust landing field length (LFL) exceed the costs of doing so for all aircraft types when the LFL under current regulations equals the runway length available and the runway is very slippery (CRFI approximately 0.2). For most jet aircraft landings in Canada, the runway length available far exceeds the LFL required, resulting in extremely few flights (less than 0.01%) being affected.

Considering only the benefits and costs to passenger and air carrier operations, the benefit-cost ratio for use of the CRFI tables for all air carrier jet aircraft landings in Canada is estimated to be approximately 4.7. Much of the benefit is attributed to a small number of landings of B747 aircraft on runways of 9,000 ft. or less. Considering the costs of operations, updating manuals and training, and the additional costs to the airport, the benefit-cost ratio for use of the CRFI tables is estimated to be approximately 1.2.

Costs associated with extending the 115% adjustment to LFL to cover slippery runways are low and the benefits for the few landings affected are very high, giving a benefit-cost ratio of over 4. Many pilots already use an adjustment of 115% or greater. Considering only the operational benefits and costs, the incremental benefits of moving from the 115% adjustment to the use of the CRFI tables for slippery runways are slightly greater than the incremental costs (benefit-cost ratio of 1.1). However, if the costs of manual updates and training are considered, costs exceed the benefits.

Application of adjustments based on manufacturers' guidance material would result in very high costs if applied to all landings on slippery runways, regardless of the actual CRFI value and pilot braking reports. Under these conditions, CRFI table adjustments provide a very cost-effective alternative.

# Development of IRFI

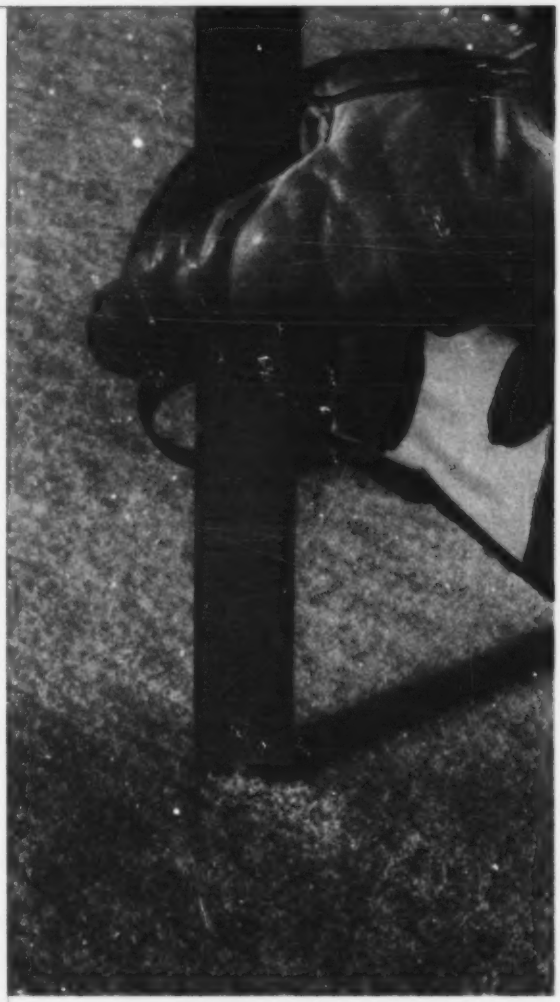
## Calculation methodology / harmonization of measuring devices

Development of an International Runway Friction Index required the establishment of a reference value against which all measurements could be compared. Systematic comparisons were made on pairs of devices to investigate their primary relationship. The first reference value was a virtual reference calculated as an arithmetic mean of measurement values of several devices. A reference value was then calculated based on the average measurement values of two devices. Finally, the measurement values of only one device were chosen as the IRFI reference value for the harmonization of measurements of all devices.

After four years of trials, evaluations of instruments used in the program, and comparative studies of devices, the IMAG was chosen as the benchmark device on which to develop IRFI and work out an ASTM standard.

ASTM standard E2100 International Runway Friction Index defines and prescribes how to calculate IRFI for winter surfaces. IRFI is a harmonized reporting index intended to provide aircraft operators with information on the tire–surface friction characteristics of a runway. In addition, airport maintenance staff can use it to monitor runway friction characteristics to help determine the surface maintenance required.

The prescribed method evaluates each 100 m (300 ft.) and averages them for each third of the runway. It reduces the present variations of the 100 m surface lengths from as much as 0.2 down to typically 0.04. The sampling scheme of a full runway length (spot or continuous measurements) may yield additional variation.



## Correlation with aircraft braking performance

The scope and the aim of the research was to build a fundamental method to harmonize friction values measured by different measurement equipment and relate the harmonized friction index to aircraft braking performance. The IRFI scale and method developed reduces the difference between each ground friction measuring device by a significant amount. Disagreements between devices are reduced by 64% by applying the IRFI procedures.

Since the IRFI calculation method standardized by ASTM Standard E2100 accommodates all major measurement techniques and equipment currently used around the world, it is the only standard that can report friction on a common scale irrespective of geographical location. The correlation of IRFI to actual aircraft braking performance has been shown to be comparable in confidence and precision to individual devices even though it accommodates many devices. The reduction of variation among measurement techniques and devices is coupled with a relevant and considerable agreement to aircraft braking performance.

Ongoing work has shown that the IRFI can be used to predict aircraft braking performance. However, the type of device generating the IRFI (through harmonization constants) is critically important. If the device does not correlate well with aircraft braking coefficients, conversion to IRFI will not improve the correlation.

## Development of a Braking Distance Ratio

The braking distance ratio (BDR) is the ratio of the braking distance on a contaminated runway to the braking distance on a bare and dry runway.

Although the BDR concept provides useful information, it can only be used operationally if the dry runway braking distance is known. Since most AFMs provide only the total landing distance from a 50 ft. screen height without specifying the individual segment distances, the CRFI tables of recommended landing distance are considered to be more useful to pilots than BDR tables.

## Implementation issues / calibration of devices

JWRFMP tests have shown that the participating devices are not representative of other devices, even when they are of the same generic type. This suggests that harmonization constants must be determined and applied to individual devices, rather than to generic groups of devices, as was done in the past. To accomplish this, a master device could be calibrated to the IRFI reference device to serve as a secondary reference. The manufacturer or owner of the master device could then calibrate other devices to it.

# The Future of IRFI

## Where should the research go from here?

The technique and standard developed by JWRFMP have significantly reduced variance between ground friction measuring devices, offering the possibility of agreement between aircraft braking performance and the common scale developed for all devices.

Future work should establish and enhance agreement between IRFI and aircraft braking performance. The method for measuring, reporting, and calibrating individual devices has been developed. Future work should include the following:

- Select the final version of the IRFI reference, i.e., International Reference Vehicle, 0.95 IMAG, CRFI, virtual reference.
- Define calibration and maintenance techniques to implement the IRFI standard. This involves developing the final relationship between individual friction measuring devices and IRFI so that correlation between aircraft braking performance and IRFI can be determined and assessed.
- Develop and establish implementation guidelines, and instructional and training materials to help the international aviation community understand and accept the IRFI standard practice.

## Challenges to implementation

The success of IRFI implementation on a worldwide scale relies greatly on the level of involvement of airport authorities. Services in charge of maintaining measuring devices must preserve a good calibration state for optimal operation. Moreover, commitment from measuring apparatus manufacturers is necessary. They have to equip devices with control procedures in order to allow users to keep instruments at optimal precision and ensure permanence in operating conditions.

Calibration tests need to be carried out periodically among master devices and the international reference device. Also, routine tests need to be organized in each country to calibrate devices against the master device. ICAO needs to promote IRFI within the international community.

Once IRFI has been introduced as a standard in the international community, the next challenge will be to establish a relationship between IRFI and aircraft braking performance. The success of this effort will depend on the individual friction measuring devices used by the various countries.

# References


TP 14194E, *Joint Winter Runway Friction Measurement Program (JWRFMP): 2003 testing and data analysis*, CDRM Inc., 2003

TP 14193E, *Joint Winter Runway Friction Measurement Program (JWRFMP): 2002 testing and data analysis*, CDRM Inc., 2003

TP 14176E, *Decelerometer tests: CRFI quality assurance tests and the effect of the vehicle's ABS system*, BMT Fleet Technology Limited, 2003

TP 14082E, *Benefit-cost analysis of procedures for accounting for runway friction on landing*, Sypher:Mueller International Inc., 2003

TP 13983E, *Dornier DU328 aircraft braking performance on winter contaminated runways*, National Research Council Canada, 2002

TP 13957E, *Dash 8 aircraft braking performance on winter contaminated runways*, National Research Council Canada, 2002

TP 13943E, *Evaluation of aircraft braking performance on winter contaminated runways and prediction of aircraft landing distance using the Canadian Runway Friction Index*, National Research Council Canada, 2002

TP 13941E, *Runway friction accountability risk assessment: Results of a survey of Canadian airline pilots*, Sypher:Mueller International Inc., 2002

TP 14065E, *Comparison of the IRV and the ERD on winter contaminated surfaces*, CDRM Inc., 2001

TP 14061E, *International Runway Friction Index (IRFI): Development technique and methodology*, CDRM Inc., 2001

TP 13833E, *Falcon 20 aircraft performance testing on contaminated runway surfaces during the winter of 1999-2000*, National Research Council Canada, Institute for Aerospace Research, 2001

TP 13791E, *Comparison of IRV and IMAG on winter contaminated surfaces*, CDRM Inc., 2001

TP 13780E, *First Air B727 aircraft landing performance on contaminated arctic runway surfaces during the winters of 1998-1999 and 1999-2000*, National Research Council Canada, Institute for Aerospace Research, 2001

TP 13672E, *Runway surface and environmental conditions during friction tests at K.I. Sawyer Airbase, Michigan, USA February 1999*, National Research Council Canada, 2000

TP 13658E, *Winter contaminants on surface during friction tests at Munich Airport – February 2000*, National Research Council Canada, 2000

TP 13837E, *Friction fundamentals, concepts and methodology*, MFT Mobility Friction Technology, 1999

TP 13579, *IMAPCR '99: Proceedings of the second international meeting on aircraft performance on contaminated runways / Compte rendu de la deuxième Réunion internationale sur la performance des avions utilisant des pistes chargées de contaminants*, Transportation Development Centre and ICSA Inc., 1999

TP 13557E, *Falcon 20 aircraft performance testing on contaminated runway surfaces during the winter of 1998-1999*, National Research Council Canada and Civil Aviation Certification Branch, 1999

TP 13338E, *Falcon 20 aircraft performance testing on contaminated runway surfaces during the winter of 1997-98*, National Research Council Canada and Civil Aviation Certification Branch, 1998

TP 13258E, *Braking friction coefficient and contamination drag of a B727 on contaminated runways*, National Research Council Canada and Civil Aviation Certification Branch, 1998

TP 13060E, *Characteristics of winter contaminants on runway surfaces in North Bay*, National Research Council Canada, 1997

TP 12943, *IMAPCR '96: Proceedings of the international meeting on aircraft performance on contaminated runways / Compte rendu de la Réunion internationale sur la performance des avions utilisant des pistes chargées de contaminants*, Transportation Development Centre and the U.S. National Aeronautics and Space Administration, 1996

# Survol

*du* Programme conjoint de recherche sur la glissance des chaussées aéronautiques l'hiver

*Novembre 2004*

Centre de développement des transports

TP 13361

Transports Canada Transport Canada

Canada

Centre de développement des transports
800, boul. René-Lévesque Ouest
Bureau 600
Montréal (Québec) H3B 1X9

Téléphone (514) 283-0000
Télécopieur (514) 283-7158
Courriel tdccdt@tc.gc.ca
Site Web www.tc.gc.ca/cdt/menu.htm

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, représentée par le ministre des Transports, 2004.

N° de catalogue T49-43/2004
ISBN 0-662-68824-5
TP 13961
Novembre 2004

Transports Canada n'a pas l'habitude de citer des noms de produits ou de fabricants. S'il le fait ici, c'est simplement pour la bonne compréhension du texte.

Contexte

Historique

Axes de recherche

Essais

Élaboration du CRFI

Élaboration de l'IRFI

L'avenir de l'IRFI

Références

Centre de développement des transports
800, boul. René-Lévesque Ouest
Bureau 600
Montréal (Québec) H3B 1X9

Téléphone (514) 283-0000
Télécopieur (514) 283-7158
Courriel tdccdt@tc.gc.ca
Site Web www.tc.gc.ca/cdt/menu.htm

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, représentée par le ministère des Transports, 2004.

N° de catalogue T48-43/2004
ISBN 0-662-68524-5
TP 13361
Novembre 2004

Transports Canada n'a pas l'habitude de citer des noms de produits ou de fabricants. S'il le fait ici, c'est simplement pour la bonne compréhension du texte.

# Table *des* matières

1 Contexte

2 Historique

4 Axes de recherche

5 Essais

7 Élaboration du CRFI

10 Élaboration de l'IRFI

12 L'avenir de l'IRFI

13 Références

# Survol

## Programme conjoint de recherche sur la glissance des chaussées aéronautiques l'hiver

## Contexte

Partout dans le monde, les pistes rendues glissantes par l'eau et la glace constituent la principale cause des accidents d'avions à l'atterrissage. D'où l'importance de disposer de données précises et à jour sur l'état de la surface des pistes pour garantir la sûreté des opérations aériennes. Or, les méthodes utilisées pour évaluer les conditions météorologiques varient d'un pays à l'autre, et l'information communiquée aux pilotes varie non seulement d'un pays à l'autre, mais aussi d'un aéroport à l'autre, même lorsque les états de surface sont identiques.

Malgré plusieurs tentatives de mettre au point un système automatique de surveillance, d'identification et de mesure de la contamination, la méthode la plus couramment utilisée pour évaluer la qualité de la surface des pistes demeure la mesure du frottement. La mesure du frottement est l'un des éléments du compte rendu général de l'état de la surface de la piste. Le processus menant à ce compte rendu comporte les étapes suivantes :

- inspection visuelle des surfaces (sert à déterminer le type de contamination, son étendue et sa répartition sur la surface);
- mesure de l'épaisseur de la contamination;
- mesure du frottement.

# Historique

## Commission Dryden

Au Canada, l'écrasement d'un avion à Dryden, Ontario, en mars 1989, a amené le problème de la glissance des pistes au cœur de l'actualité. Un Fokker F-28 MK 1000 d'Air Ontario s'est écrasé au-delà de l'extrémité de la piste, alors qu'il tentait de décoller. Parmi les 69 personnes à bord, 21 passagers et trois membres d'équipage ont péri. Quant à l'avion, il a été détruit par l'incendie qui s'est déclaré après l'écrasement.

Dans une de ses nombreuses recommandations formulées à la suite de son enquête sur l'accident, la Commission Dryden a insisté sur la nécessité d'«accélérer les recherches sur des moyens techniques précis capables de définir l'état de la surface des pistes et les effets de cet état sur les performances des avions». Les premiers travaux financés par la Commission Dryden ont mis en évidence l'impossibilité d'arriver à des conclusions ou d'élaborer des méthodes de mesure à partir des données disponibles à l'époque. Or, la mise en service de nouveaux produits et de nouvelles techniques antigivrage, et l'accélération des procédures aux aéroports, allaient faire de l'acquisition des données nécessaires une entreprise majeure.

## Création du PCRGCAH

En décembre 1995, après la publication et la discussion d'un Livre blanc rédigé par le gouvernement du Canada en collaboration avec l'industrie, Transports Canada (TC) et la National Aeronautics and Space Administration (NASA) signaient un protocole d'entente visant le lancement d'un programme quinquennal de recherche sur la glissance des chaussées aéronautiques l'hiver. C'est avec l'appui d'autres organismes nord-américains et des gouvernements de Norvège et de France qu'un programme d'envergure internationale – le Programme conjoint de recherche sur la glissance des chaussées aéronautiques l'hiver (PCRGCAH) – était lancé en janvier 1996.

*Objectifs*

Les grands objectifs assignés au PCRGCAH sont les suivants :

- étudier des méthodes de mesure du frottement et définir un Indice international de la glissance des pistes (IRFI, *International Runway Friction Index*) pouvant être utilisé partout dans le monde;
- établir un «langage universel» permettant de décrire de façon uniforme l'état d'une piste, peu importe où elle se trouve dans le monde;
- étudier les performances des avions sur des surfaces contaminées et établir une relation entre ces performances et l'indice harmonisé (IRFI).

Pour atteindre ces objectifs, l'équipe TC/NASA a prévu une démarche en cinq phases :

- acquisition de données à l'aide d'appareils de mesure spécialement adaptés
- acquisition de données au moyen d'essais mettant en jeu des avions instrumentés
- analyse, corrélation et interprétation des données
- application des connaissances acquises à l'élaboration d'un IRFI
- validation de la méthode d'élaboration de l'IRFI

*Organisations participantes*

Le Conseil national de recherches du Canada (CNRC) ainsi que la FAA (Federal Aviation Administration) des États-Unis ont immédiatement souscrit au programme. L'Administration de l'aviation civile de Norvège ainsi que le Service technique des bases aériennes et la Direction générale d'aviation civile de France ont aussi offert leur appui. Peu à peu, d'autres organismes, comme l'Organisation de l'aviation civile internationale, la Joint Aviation Authority (l'équivalent européen de la FAA) et le ministère de la Défense nationale du Canada, de même que des transporteurs aériens et des constructeurs aéronautiques du Canada, des États-Unis, du Royaume-Uni, de France, d'Allemagne, du Japon et de Norvège se sont investis dans le programme. Ce programme, piloté par le Centre de développement des transports de Transports Canada, réunit maintenant plus de 30 organisations de 12 pays. L'apport de ces organisations prend diverses formes : soutien financier, données colligées par leurs propres programmes, expertise technique, matériel, produits, personnel, installations.

L'American Society for Testing and Materials (ASTM) a offert de collaborer avec l'industrie et les milieux aéronautiques à l'établissement de normes concernant un indice de rapport commun pour les appareils de mesure du frottement, fondé sur les résultats du programme et les commentaires des participants au programme. L'ASTM a mis sur pied un groupe de travail composé de représentants de divers pays, afin de définir les concepts à la base de cet indice.

## Définition des forces de frottement

Les forces de frottement peuvent être regroupées en deux catégories :

1. *Forces de frottement à l'interface pneu–surface* : la grandeur de ces forces dépend de la nature du contact à l'interface du pneu et de la chaussée. Les caractéristiques de ce contact et, par conséquent, l'intensité du frottement, dépendent de la nature et de l'épaisseur des contaminants. Un contaminant «dur», comme la glace ou la neige tassée, produit un frottement moindre, en raison de la faible force de cisaillement qu'il génère.
2. *Résistance au roulage* : les contaminants fluides, comme l'eau, la glace ou la neige fondante, et la neige poudreuse réduisent aussi les forces de frottement. Toutefois, la présence de ces contaminants engendre aussi des forces de compression – qui s'opposent au déplacement vertical du pneu – lesquelles déterminent la traînée, ou la résistance au roulage. Ces forces dépendent de la vitesse et de la portance de la roue, ainsi que de l'épaisseur et de la densité de la contamination fluide.

En général, la mesure du frottement sur une surface se fait comme suit :

- Un véhicule équipé d'une roue palpeuse, sur laquelle est monté un pneu spécialement adapté, roule à une vitesse constante.
- La roue de mesure est amenée en contact avec la surface par l'application sur celle-ci d'une charge verticale. Elle est alors ralentie, ce qui provoque un glissement entre le pneu et la surface. Ce glissement engendre des forces de frottement de contact à l'interface pneu–surface.
- Des systèmes de mesure conçus pour quantifier ces forces produisent une intensité de frottement.

## Appareils de mesure du frottement

Les appareils de mesure utilisés pour enregistrer les caractéristiques de frottement diffèrent par leur conception et leurs fonctions. Certains mesurent uniquement les forces de frottement (mesure du couple de freinage), tandis que d'autres mesurent l'ensemble des forces (forces de frottement et résistance au roulage), représentées par un seul paramètre : le coefficient de frottement. Quant à la roue de mesure – l'élément «capteur» de l'appareil de mesure – elle peut différer, d'un appareil à l'autre, par des caractéristiques aussi fondamentales que les dimensions (largeur et diamètre), le type de caoutchouc du pneu, la forme du pneu, la pression de gonflage du pneu et la charge verticale appliquée sur la roue.

Les caractéristiques de frottement d'une surface peuvent aussi être évaluées à l'aide d'un décéléromètre fixé sans jeu dans un véhicule. Le véhicule accélère jusqu'à une vitesse de 50 km/h; les freins sont alors appliqués jusqu'au blocage des roues. Le décéléromètre mesure le coefficient de frottement en fonction de la décélération produite par le frottement et la traînée. Comme le véhicule d'essai doit atteindre une vitesse donnée avant chaque lecture, ces appareils sont appelés «appareils à lectures ponctuelles».

Comme les appareils de mesure du frottement varient beaucoup par leur conception et leurs caractéristiques, on ne doit pas se surprendre qu'ils puissent donner des résultats différents.

## Performances des avions en freinage

Le coefficient de freinage de l'avion, qui représente le meilleur indicateur de sa performance en freinage, s'obtient à partir de la valeur totale de la décélération de l'avion sur la distance de freinage, compte tenu d'un certain nombre de facteurs, dont la traînée aérodynamique, la poussée de ralenti, la poussée inversée, la traînée due à la contamination de la chaussée et la pente de la piste.

## Appareils de mesure

### *Méthodologie*

L'équipe de recherche a choisi quelques appareils de mesure aux fins des essais :

- le glissancemètre (RFT, *Runway Friction Tester*) et la remorque BV11 utilisés par la FAA
- le véhicule intégré d'essai de pneus (*Integrated Tire Test Vehicle*) de la NASA
- le glissancemètre (SFT, *Surface Friction Tester*) développé par Saab, le *GripTester* et le décéléromètre électronique (ERD, *Electronic Recording Decelerometer*) utilisés par Transports Canada
- l'instrument de mesure automatique de la glissance (IMAG), mis au point par le Service technique des bases aériennes de l'Administration de l'aviation civile de France

Les essais consistaient à mesurer les forces de frottement sur des surfaces naturelles (soumises aux conditions météorologiques locales) et sur des surfaces préparées. Le premier objectif était d'explorer une gamme d'états de surface, de façon à étudier la glissance associée à divers contaminants (glace, neige mouillée, neige sèche, neige tassée, neige fondante), ainsi que les résultats obtenus à l'aide de divers appareils de mesure.

Les surfaces recouvertes de glace ou de neige tassée ont fait l'objet d'essais supplémentaires qui ont servi à étudier les effets de la température, de la charge et de la pression du pneu sur la roue de mesure.

### *Historique*

Chaque hiver, des essais ont été tenus à l'Aéroport Jack Garland de North Bay, en Ontario. Des essais ont aussi eu lieu ailleurs en Amérique du Nord, notamment à la base aérienne Gwinn Sawyer, au Michigan et au Centre de vols spatiaux des îles Wallops de la NASA, en Virginie. En Europe, le PCRGCAH a été accueilli par les autorités norvégiennes de l'aviation civile à l'Aéroport Gardermoen d'Oslo, et par les autorités allemandes, à Munich et à la base aérienne d'Erding. Des essais ont aussi eu lieu à l'Aéroport de Prague, en République tchèque, et à l'Aéroport New Chitose, sous l'égide de l'Administration de l'aviation civile du Japon.

Une base de données a été constituée et mise à la disposition des chercheurs. Elle contient les données issues de plus de 38 500 circuits de freinage effectués à l'aide de 44 appareils de 14 types différents. Les surfaces utilisées pour les essais offraient toute une gamme de conditions : glace (au moins six types), neige tassée, neige poudreuse (épaisseur de 0,25 mm à 100 mm), et plus de 30 surfaces mouillées et sèches. Les températures d'essai variaient de -25 °C à +10 °C.

## Performances des avions en freinage

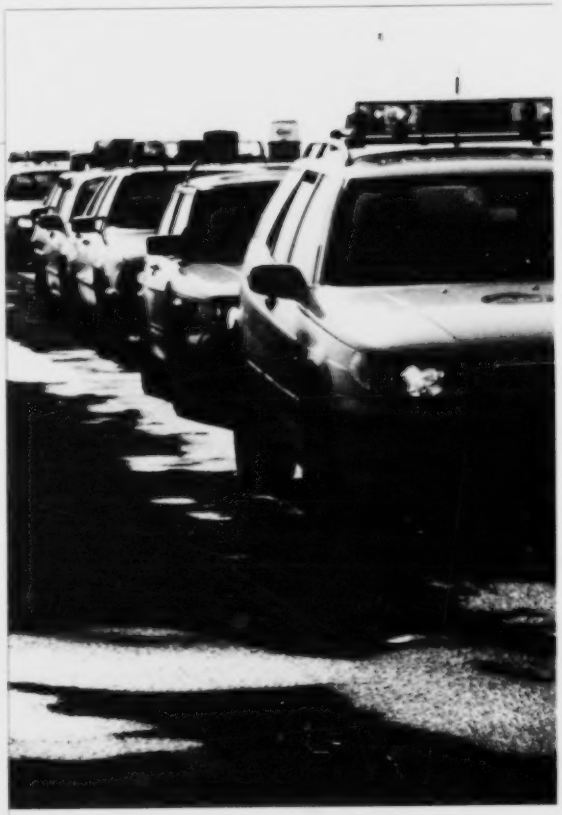
### *Méthodologie*

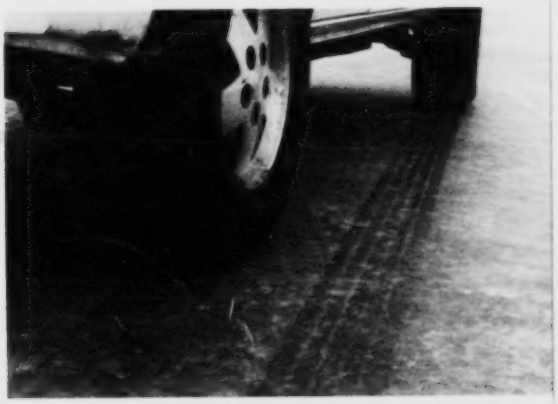
Les essais mettaient en jeu des avions dans trois configurations critiques – décollage, atterrissage et décollage interrompu – sur diverses surfaces. Les manœuvres comportaient des accélérations-arrêts et des atterrissages avec freinage maximal avec antidérapage, sur différentes surfaces contaminées. Les paramètres mesurés comprenaient la décélération de l'avion, la pression des freins de roue et les fluctuations de vitesse de l'avion, dans les diverses conditions d'essai. Des mesures du frottement étaient faites avec les véhicules au sol avant

et après les circuits de freinage, ce qui permettait de comparer les valeurs enregistrées par les appareils de mesure et par les avions. Les enregistrements-avions ont servi à l'élaboration d'un modèle théorique décrivant la relation entre le coefficient de frottement de freinage de l'avion roues au sol et le frottement mesuré à l'aide des appareils, et à élaborer des tables de distances d'atterrissage.

### *Historique*

Les premiers essais de freinage, menés à North Bay, en Ontario, mettaient en jeu des avions instrumentés et des appareils de mesure du frottement au sol. Les hivers suivants, au site de North Bay, où se poursuivaient les essais, se sont ajoutés d'autres sites d'essai, soit le Centre de vols spatiaux des îles Wallops de la NASA, en Virginie, Oslo, en Norvège, la base aérienne Gwinn Sawyer, au Michigan, Munich, en Allemagne, Prague, en République tchèque et l'Aéroport New Chitose à Sapporo, au Japon.





Des coefficients de frottement de freinage ont été établis pour un total de huit avions, de six modèles différents et tous dotés d'un système antidérapage semblable : un Falcon 20 du CNRC; un B737 et un B757 de la NASA; un B727 de la FAA et un autre de First Air; un Dash 8 de de Havilland et un autre de NAV Canada; et un DU328 à turbopropulseurs de Fairchild Dornier. Au total, 275 circuits de freinage maximal avec antidérapage ont eu lieu dans plus de 70 états de contamination de piste, pour la plupart résultant de conditions hivernales naturelles et pour quelques-uns, de conditions artificielles, notamment les états de neige tassée et de glace. Au Japon, les données ont été colligées à l'aide d'avions B767, B777 et B747.

# Élaboration du CRFI

## Projet de règlement concernant l'utilisation du CRFI

Un programme de comptes rendus de l'état de la surface des pistes, qui comprend la mesure du coefficient de frottement de la surface des pistes, existe dans les aéroports canadiens depuis environ 30 ans. Les valeurs de frottement, obtenues à l'aide de l'ERD, sont données sous forme d'un coefficient canadien de frottement sur piste (CRFI). Les valeurs CRFI font partie du compte rendu de l'état de la surface et elles sont incluses dans le NOTAM. Les pilotes ont accès à ces valeurs de frottement et ils peuvent les appliquer aux *Tables de distances d'atterrissage recommandées en fonction des CRFI* qui sont publiées dans le *Supplément de vol - Canada (CFS)* et dans la *Publication d'information aéronautique (AIP)* en tant que renseignements d'orientation pour les pilotes.

Des projets de modification du *Règlement de l'aviation canadien* ont été déposés, qui visent à normaliser les méthodes de compte rendu des valeurs CRFI, y compris la fréquence des inspections et la diffusion des comptes rendus, le matériel à utiliser et l'entretien de celui-ci, et la formation du personnel à tous les aéroports canadiens.

## Corrélation du CFRI avec les performances des avions en freinage

Le coefficient de frottement, qui représente le meilleur indicateur des performances des avions en freinage, est calculé à partir de la décélération de l'avion pendant un circuit de freinage, en tenant compte d'un certain nombre de facteurs, comme la traînée aérodynamique, la poussée de ralenti, la poussée inversée, la traînée due à la contamination et la pente de la piste. Habituellement, le coefficient de freinage est surtout fonction de la vitesse de l'avion. Mais les résultats des essais ont révélé que, dans le cas de surfaces contaminées par des précipitations hivernales, le coefficient de freinage obtenu à l'application maximale des freins, avec antidérapage, était pratiquement sans rapport avec la vitesse au sol de l'avion, quel que soit le type d'avion. Les coefficients de freinage pouvaient donc être mis directement en rapport avec les coefficients de frottement sur piste, ce qui permettait de déterminer l'intensité de la corrélation entre les deux paramètres et si les performances des avions en freinage pouvaient être prédites à partir d'un coefficient de frottement sur piste.

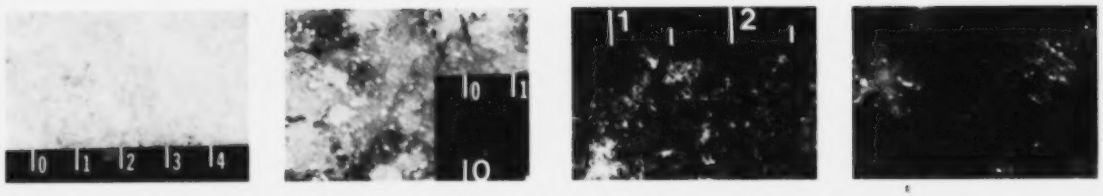
Dans la comparaison des coefficients de freinage des avions et des coefficients de frottement sur piste enregistrés par les dispositifs de mesure ERD, SFT et IMAG, c'est avec l'ERD que la meilleure corrélation a été obtenue. C'est donc à partir des résultats de cet appareil que le CRFI a été établi. Pour chacune des trois grandes catégories d'avions testés (jet d'affaires, avion de transport moyen et avion à turbopropulseurs) une relation semblable a été observée entre le coefficient de freinage de l'avion et le CRFI. On a jugé que cette corrélation était suffisamment forte pour que le CRFI mesuré serve à prévoir de façon prudente les performances des avions en freinage.

## Élaboration de tables CRFI de distances d'atterrissage recommandées

Le coefficient de freinage de l'avion était calculé à partir des données de décélération, et un coefficient de freinage moyen était déterminé pour chaque circuit de freinage. On mettait alors ce coefficient de freinage en rapport avec le CRFI pour obtenir un ajustement linéaire. Au bout du compte, une bonne corrélation a été établie entre les coefficients de freinage de tous les avions testés et le CRFI, sur des pistes où la contamination était uniformément répartie et où la traînée due à la contamination était négligeable.

Un modèle de décélération a été élaboré à partir de l'ajustement linéaire du coefficient de freinage par rapport au CRFI. La décélération moyenne prévue par le modèle a servi à déterminer la distance de freinage, puis la distance totale d'atterrissage, dans diverses conditions. Dans le cas du Falcon 20, par exemple, les distances d'atterrissage d'une altitude de seuil de 50 pi jusqu'à un arrêt complet sur une piste sèche varient de 1 800 pi (masse brute minimale, CRFI de 0,8, niveau de la mer, vent de face de 20 nœuds) à 4 000 pi (masse brute maximale, CRFI de 0,8, altitude-pression de 6 000 pi, vent arrière de 10 nœuds).

À partir du modèle de décélération et d'autres données sur le Falcon 20, les distances d'atterrissage sur pistes contaminées ont été déterminées en fonction des distances d'atterrissage données par le manuel de vol du Falcon 20, et du CRFI. Des facteurs de sécurité ont été ajoutés et le modèle a



été étendu pour englober les distances d'atterrissage figurant dans les manuels de vol d'avions à turbopropulseurs, jusqu'à 1 200 pi. Un modèle distinct, qui prend en compte les effets de l'inversion de poussée, a aussi été élaboré.

Comme les distances d'atterrissage recommandées dans les tables de CRFI résultent de l'application d'un facteur à la distance d'atterrissage du manuel de vol (en fonction du CRFI), on considère qu'elles s'appliquent aux avions génériques équipés de systèmes antidérapage semblables. Autrement dit, on suppose que l'ajout, en pourcentage, qu'il faut faire à la distance d'atterrissage donnée par le manuel de vol, en raison de la glissance de la piste, est le même pour tous les avions dotés de systèmes antidérapage équivalents. L'expérience et des études distinctes ont permis de valider cette hypothèse.

## Sondage auprès de pilotes canadiens

En juillet 2001, un sondage a été envoyé à 1 000 pilotes de l'aviation commerciale choisis au hasard parmi les membres de l'Association des pilotes d'Air Canada (ACPA) et à tous les pilotes (environ 2 450) de la Air Line Pilots Association (ALPA) du Canada. Une version française du sondage a également été transmise aux groupes à prédominance francophone de l'ALPA. TC, l'ACPA et l'ALPA avaient participé à l'élaboration du sondage. Au total, 393 pilotes ont répondu – un taux de 11,4 % –, formant un échantillon assez représentatif des pilotes d'avions professionnels qui travaillent au Canada, pour ce qui est des années d'expérience et du type d'avion piloté.

### *Résultats*

Au Canada, la plupart des pilotes de l'aviation commerciale ont accès à une forme ou une autre de document d'orientation concernant les pistes glissantes, et la plupart appliquent un facteur de correction à la longueur de piste à l'atterrissage, lorsque la piste est glissante. Pour les atterrissages sur des pistes glacées ou couvertes de neige tassée, la plupart des pilotes augmentent de 15 % les distances d'atterrissage, ce qui est la norme pour beaucoup d'avions atterrissant sur des pistes mouillées. Les pilotes n'hésitent pas à modifier leurs plans de vol lorsque les pistes sont glissantes. Ainsi, à l'hiver 2000-2001, environ la moitié des pilotes ont déclaré avoir attendu, pour atterrir à un aéroport, que la piste soit moins glissante, ou s'être déroutés vers un autre aéroport. Les mesures visant à réduire la masse de l'avion avant le décollage ou en vol étaient beaucoup moins courantes.

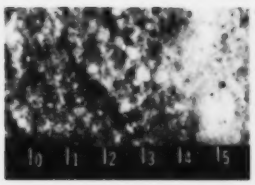
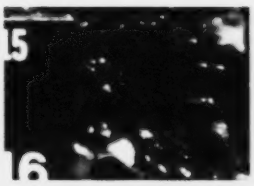
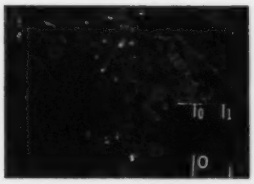
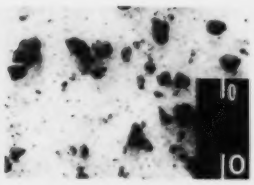
Les pilotes ont indiqué que la qualité de l'information sur la glissance de la piste varie d'un aéroport à l'autre, et qu'il y aurait lieu d'améliorer la situation, par exemple, en mettant à jour plus fréquemment les valeurs de frottement, en particulier aux petits aéroports. Il importe aussi de constamment s'assurer que les relevés sont valides et que de nouveaux relevés sont faits à chaque changement important de l'état de la surface.

Le sondage a aussi souligné la nécessité d'améliorer la formation reliée à la glissance des pistes. Plus de 20 % des pilotes de gros porteurs attendaient toujours de recevoir une formation structurée sur l'utilisation des données de frottement sur piste, et seulement la moitié de ceux qui avaient reçu une formation l'avaient reçue dans les 12 mois qui avaient précédé le sondage. De ces derniers, 20 % se sont déclarés insatisfaits de la façon dont avait été abordée la question de l'utilisation des valeurs de frottement sur piste.

## Analyse avantages-coûts

Une analyse avantages-coûts menée en 2002 a comparé l'utilisation des tables CRFI pour la prise en compte de la glissance des pistes à l'atterrissage, au regard des règlements existants (sans correction), d'une correction de 115 % pour piste mouillée, et de la correction recommandée par le constructeur de l'avion. Dans les cas d'avions pour lesquels il n'existait aucune recommandation du constructeur, on a appliqué le facteur de correction recommandé pour d'autres avions semblables.

Pour déterminer les avantages de tenir compte des pistes glissantes, on a évalué la réduction conséquente des coûts d'accidents. Un modèle a été élaboré pour calculer la probabilité de dépassement de piste à l'atterrissage, et pour évaluer les conséquences d'un tel accident. La distance d'atterrissage a été estimée à partir de la distance donnée dans le manuel de vol de l'avion, corrigée pour pistes glissantes, d'après les résulats des essais du Falcon 20 réalisés à North Bay par le CNRC et TC. Le modèle adopté permet

de faire varier la distance de vol avant le toucher des roues, le temps de retard, le coefficient de freinage sur chaussée glissante, et le réglage et l'application des freins. Le modèle de risque s'est avéré une bonne représentation des statistiques sur les dépassements de piste au Canada.

Les coûts pour les transporteurs aériens et pour les passagers comprenaient le temps passé en vol à attendre que le CRFI s'améliore, les vols annulés ou déroutés, les réductions de la masse de l'avion, la mise à jour des manuels et l'organisation de séances de formation. Les coûts supplémentaires pour les aéroports seront faibles, car les valeurs CRFI sont déjà colligées à tous les aéroports à pistes en dur où atterrissent des avions à réaction. On peut toutefois penser aux coûts supplémentaires que les aéroports devront assumer pour pouvoir communiquer les valeurs CRFI plus tôt le matin et pour améliorer les procédures et la formation, de façon à accroître l'uniformité des comptes rendus.

### *Résultats*

Pour un avion à réaction qui se pose sur une surface glissante, le risque de dépassement de piste est environ 13 fois plus élevé que sur une piste sèche. Ce même risque est environ quatre à sept fois plus élevé pour un avion non muni d'inverseurs de poussée que pour un avion muni d'inverseurs.

Au Canada, de 1989 à 2001, le taux d'accidents/incidents de dépassement de piste par des avions à réaction en atterrissage sur piste glissante s'est élevé à quelque 17 par million d'atterrissages (compte non tenu des cas où l'avion faisait une sortie latérale). Si on tient compte uniquement des avions à réaction de transport de passagers, ce taux était de 13 par million d'atterrissages. Du fait de la faible proportion des atterrissages sur piste glissante, le taux d'accidents/incidents de dépassement de piste dus à la chaussée glissante était de 1,3 par million, tous atterrissages confondus, ou de 1,0 par million d'atterrissages d'avions à réaction commerciaux. De plus, les conséquences de ces dépassements de piste étaient plutôt faibles, puisque ces types d'accidents n'ont entraîné aucune perte de vie ces 25 dernières années au Canada.

Les avantages reliés à l'utilisation des tables CRFI pour corriger la longueur de piste à l'atterrissage (LFL, *Landing Field Length*) l'emportent sur les coûts d'une telle correction et ce, pour tous les types d'avions, lorsque la LFL prévue par le règlement en vigueur est égale à la longueur de piste disponible et que la piste est très glissante (CRFI d'environ 0,2). Or, dans la plupart des cas d'atterrissage d'avion à réaction au Canada, la longueur de piste disponible dépasse de beaucoup la LFL exigée, ce qui fait que très peu de vols (moins de 0,01 %) sont visés.

Si on ne tient compte que des coûts et avantages pour les passagers et les transporteurs aériens, on estime à environ 4,7 le rapport avantages-coûts associé à l'utilisation des tables CRFI pour tous les atterrissages d'avions à réaction de l'aviation commerciale au Canada. Ce rapport élevé s'explique en grande partie par le petit nombre de B747 qui atterrissent sur des pistes de 9 000 pi ou moins. En tenant compte des coûts d'exploitation, de la mise à jour des manuels et de la formation, et des coûts supplémentaires que doit assumer l'aéroport, le rapport avantages-coûts relié à l'utilisation des tables CRFI est évalué à environ 1,2.

L'application du facteur de correction de 115 % à la LFL, dans les cas où la piste est glissante, représente une faible hausse des coûts, en comparaison des immenses avantages qu'elle représente pour les quelques atterrissages en cause, ce qui donne un rapport avantages-coûts de plus de 4. Beaucoup de pilotes utilisent déjà une correction de 115 % ou plus. Si on ne tient compte que des avantages et coûts opérationnels, les avantages différentiels associés à l'utilisation des tables CRFI plutôt que de la correction de 115 %, pour les cas où la piste est glissante, sont légèrement supérieurs aux coûts différentiels (rapport avantages-coûts de 1,1). Toutefois, si on tient compte des coûts associés aux mises à jour des manuels et à la formation, les coûts dépassent les avantages.

L'application de facteurs de correction fondés sur les recommandations du constructeur entraînerait des coûts très élevés, si ces facteurs de correction étaient appliqués à tous les atterrissages sur piste glissante, peu importe la valeur CRFI réelle et les comptes rendus des pilotes sur le freinage. Dans ces conditions, la correction des distances d'atterrissage d'après les tables CRFI représente une solution de rechange très économique.

# Élaboration de l'IRFI

## Méthode de calcul/harmonisation des appareils de mesure

L'élaboration d'un Indice international de la glissance des pistes (IRFI, *International Runway Friction Index*) a nécessité l'établissement d'une valeur de référence à laquelle toutes les mesures pouvaient être comparées. Des comparaisons systématiques ont été faites entre les appareils de mesure réunis en paires, afin de cerner la relation principale. La première valeur de référence était une référence virtuelle obtenue en faisant la moyenne arithmétique des valeurs obtenues à l'aide de plusieurs appareils. Une valeur de référence était alors calculée à partir des valeurs moyennes correspondant à deux appareils. Finalement, les valeurs de mesure d'un seul appareil ont été choisies en tant que valeur de référence de l'IRFI aux fins de l'harmonisation des mesures pour tous les appareils.

Après quatre ans d'essais, d'évaluation des instruments utilisés et d'études comparatives des appareils de mesure, l'IMAG a été choisi en tant qu'appareil de référence à l'aide duquel seraient élaborés l'IRFI et une norme ASTM.

La norme ASTM E2100, *International Runway Friction Index*, prescrit la méthode de calcul de l'IRFI en conditions hivernales. L'IRFI est un indice harmonisé destiné à renseigner les transporteurs aériens sur les caractéristiques d'adhérence pneu-chaussée d'une piste. Cet indice peut aussi aider le personnel d'entretien à surveiller les caractéristiques de frottement des pistes et à déterminer les mesures d'entretien qui s'imposent.

La méthode prescrite par l'ASTM consiste à évaluer la glissance pour chaque longueur de 100 m (300 pi) de piste, puis à calculer la moyenne pour chaque tiers de la piste. Cette méthode permet de réduire la variation obtenue, pour des longueurs de 100 m, d'une valeur qui atteint parfois 0,2 à une valeur se situant généralement aux alentours de 0,04. Le plan de sondage de la longueur de piste (mesures ponctuelles ou continues) peut être une source de variation additionnelle.

## Corrélation de l'IRFI avec les performances des avions en freinage

La recherche avait pour but de développer une méthode fondamentale pour harmoniser les valeurs de frottement mesurées par différents appareils de mesure et de mettre en rapport l'indice de frottement harmonisé avec les performances des avions en freinage. De fait, l'échelle IRFI et la méthode mises au point réduisent de beaucoup les différences entre les appareils de mesure. Ainsi, l'application de la méthode a pour effet de réduire de 64 % les écarts entre les appareils.

Comme la méthode de calcul de l'IRFI prescrite par la norme ASTM E2100 englobe tous les principaux appareils et techniques de mesure actuellement utilisés dans le monde, cette norme est la seule capable de donner un indice commun de rapport du frottement, quel que soit l'endroit où se trouve la piste. La corrélation entre l'IRFI et les performances réelles d'un avion en freinage s'est révélée comparable, pour ce qui est du niveau de confiance et de la précision, à la corrélation entre l'IRFI et les appareils individuels, malgré la diversité des appareils. Le fait de se limiter à quelques techniques et appareils de mesure entraîne une concordance pertinente et remarquable entre l'IRFI et les performances des avions en freinage.

Les travaux en cours ont démontré que l'IRFI peut être utilisé pour prévoir la performance des avions en freinage. Cependant, le type d'appareil produisant l'IRFI (par le truchement de constantes d'harmonisation) s'avère d'une importance cruciale. Si l'appareil n'offre pas une bonne corrélation avec les coefficients de freinage des avions, la conversion à l'IRFI n'améliorera en rien la corrélation.

## Élaboration d'un rapport de distance d'arrêt

Le rapport de distance d'arrêt (RDA) est le rapport de la distance de freinage sur une piste contaminée à la distance de freinage sur une piste sèche et dégagée.

Même si le concept de RDA donne une information utile, il ne peut être utilisé en pratique que si la distance de freinage sur piste sèche est connue. Comme la plupart des manuels de vol ne donnent que la distance d'atterrissage totale d'une hauteur-écran de 50 pi sans préciser les distances sur des tronçons individuels, les tables CRFI des distances d'atterrissage recommandées sont considérées plus utiles aux pilotes que les tables RDA.

## Mise en oeuvre/étalonnage des appareils

Les appareils utilisés jusqu'ici par le PCRGCAH se sont révélés non représentatifs des autres appareils qui appartiennent pourtant au même groupe générique. Cela donne à penser qu'il y aurait lieu de calculer des constantes d'harmonisation et de les appliquer à chaque appareil en particulier plutôt qu'à un groupe générique, comme ce fut le cas dans le passé. Une des voies possibles serait d'étalonner un appareil étalon au moyen de l'appareil de référence IRFI, lequel servirait ensuite d'appareil de référence secondaire pour l'étalonnage d'appareils de mesure individuels.

# L'avenir de l'IRFI

## Quelle direction doit prendre la recherche?

La norme et la technique élaborées par le PCRGCAH ont considérablement rétréci les écarts entre les appareils de mesure du frottement au sol, ce qui ouvre la voie à une meilleure concordance entre les performances des avions en freinage et l'échelle commune élaborée pour tous les appareils de mesure.

Des travaux futurs devraient établir et améliorer la concordance entre l'IRFI et les performances des avions en freinage. La méthode de mesurage, de compte rendu et d'étalonnage des appareils individuels a été mise au point. Voici ce à quoi devraient se consacrer les travaux futurs :

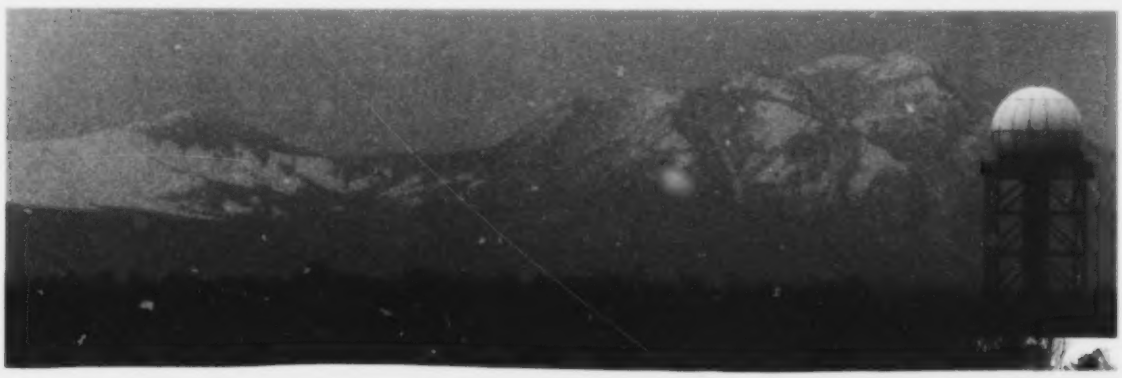
- Choisir la version définitive de la valeur de référence IRFI : véhicule de référence international, IMAG 0,95, CRFI, appareil de référence virtuel.
- Définir les techniques d'étalonnage et d'entretien à respecter pour appliquer la norme IRFI. Il faudra pour cela établir l'équation définitive entre chaque appareil de mesure et l'IRFI, de façon à pouvoir dégager la corrélation entre les performances des avions en freinage et l'IRFI.
- Élaborer et diffuser des lignes directrices pour la mise en application de l'IRFI, ainsi que du matériel de formation sur le sujet, afin d'aider le milieu international de l'aviation à comprendre et accepter la mise en pratique concrète de l'IRFI.

## Défis posés par la mise en œuvre de l'IRFI

Le succès de la mise en œuvre de l'IRFI à l'échelle mondiale dépendra beaucoup de la mobilisation des administrations aéroportuaires. Ainsi, les services responsables de l'entretien des appareils de mesure doivent garder ceux-ci correctement étalonnés, pour qu'ils fonctionnent de façon optimale. Et les fabricants des appareils de mesure ont aussi un rôle crucial à jouer. Ils doivent notamment équiper leurs appareils de mécanismes de commande, pour permettre aux utilisateurs d'optimiser la précision des instruments et d'assurer la stabilité des conditions d'exploitation.

L'étalonnage des appareils étalons sur l'appareil de référence international doit faire l'objet de vérifications périodiques. De plus, des campagnes d'étalonnage des appareils de mesure sur l'appareil étalon doivent être régulièrement organisées dans chaque pays. Enfin, l'OACI se doit de faire la promotion de l'IRFI dans le milieu de l'aviation internationale.

Une fois l'IRFI reconnu en tant que norme à l'échelle internationale, il restera à définir une relation entre l'IRFI et les performances des avions en freinage. Le succès de ces travaux dépendra des appareils de mesure du frottement utilisés dans divers pays.



# Références


TP 14194E, *Joint Winter Runway Friction Measurement Program (JWRFMP): 2003 testing and data analysis*, CDRM Inc., 2003

TP 14193E, *Joint Winter Runway Friction Measurement Program (JWRFMP): 2002 testing and data analysis*, CDRM Inc., 2003

TP 14176E, *Decelerometer tests: CRFI quality assurance tests and the effect of the vehicle's ABS system*, BMT Fleet Technology Limited, 2003

TP 14082E, *Benefit-cost analysis of procedures for accounting for runway friction on landing*, Sypher:Mueller International Inc., 2003

TP 13983E, *Dornier DU328 aircraft braking performance on winter contaminated runways*, Conseil national de recherches du Canada, 2002

TP 13957E, *Dash 8 aircraft braking performance on winter contaminated runways*, Conseil national de recherches du Canada, 2002

TP 13943E, *Evaluation of aircraft braking performance on winter contaminated runways and prediction of aircraft landing distance using the Canadian Runway Friction Index*, Conseil national de recherches du Canada, 2002

TP 13941E, *Runway friction accountability risk assessment: Results of a survey of Canadian airline pilots*, Sypher:Mueller International Inc., 2002

TP 14065E, *Comparison of the IRV and the ERD on winter contaminated surfaces*, CDRM Inc., 2001

TP 14061E,-*International Runway Friction Index (IRFI): Development technique and methodology*, CDRM Inc., 2001

TP 13833E, *Falcon 20 aircraft performance testing on contaminated runway surfaces during the winter of 1999-2000*, Conseil national de recherches du Canada – Institut de recherche aérospatiale, 2001

TP 13791E, *Comparison of IRV and IMAG on winter contaminated surfaces*, CDRM Inc., 2001

TP 13780E, *First Air B727 aircraft landing performance on contaminated arctic runway surfaces during the winters of 1998-1999 and 1999-2000*, Conseil national de recherches du Canada – Institut de recherche aérospatiale, 2001

TP 13672E, *Runway surface and environmental conditions during friction tests at K.I. Sawyer Airbase, Michigan, USA – February 1999*, Conseil national de recherches du Canada, 2000

TP 13658E, *Winter contaminants on surface during friction tests at Munich Airport – February 2000*, Conseil national de recherches du Canada, 2000

TP 13837E, *Friction fundamentals, concepts and methodology*, MFT Mobility Friction Technology, 1999

TP 13579, *IMAPCR'99 : Compte rendu de la 2e réunion internationale sur la performance des avions utilisant des pistes chargées de contaminants/ IMAPCR'99: Proceedings of the second international meeting on aircraft performance on contaminated runways*, Centre de développement des transports et ICSA Inc., 1999

TP 13557E, *Falcon 20 aircraft performance testing on contaminated runway surfaces during the winter of 1998-1999*, Conseil national de recherches du Canada et Direction de l'aviation civile – Certification de Transports Canada, 1999

TP 13338E, *Falcon 20 aircraft performance testing on contaminated runway surfaces during the winter of 1997-98*, Conseil national de recherches du Canada et Direction de l'aviation civile – Certification de Transports Canada, 1998

TP 13258E, *Braking friction coefficient and contamination drag of a B727 on contaminated runways*, Conseil national de recherches du Canada et Direction de l'aviation civile – Certification de Transports Canada, 1998

TP 13060E, *Characteristics of winter contaminants on runway surfaces in North Bay*, Conseil national de recherches du Canada, 1997

TP 12943 *IMAPCR'96 : Compte rendu de la réunion internationale sur la performance des avions utilisant des pistes chargées de contaminants/IMAPCR'96: Proceedings of the international meeting on aircraft performance on contaminated runways*, Centre de développement des transports et U.S. National Aeronautics and Space Administration, 1996